



REC'D 01 SEP 2003	
WIPO	PCT

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 04 AOUT 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

CRÉÉ PAR LA LOI N° 51-444 DU 19 AVRIL 1951

BEST AVAILABLE COPY



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

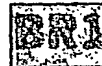
1<sup>er</sup> dépôt

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

enja  
N° 11354\*02

## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE page 1/2





Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 W / 01C601

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>19 JUIN 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI <b>0207546</b> DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>19 JUIN 2002</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</b>  <b>Cabinet REGIMBEAU 20, rue de Chazelles 75847 PARIS CEDEX 17 FRANCE</b>	
<b>Vos références pour ce dossier</b> (facultatif) <b>239750-D20165-ELF</b>			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b>		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
<b>2 NATURE DE LA DEMANDE</b>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b>	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
<b>3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</b>  <b>ENSEMBLE OPTIQUE ET PROCEDE ASSOCIE.</b>			
<b>4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</b>		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)</b>		<input checked="" type="checkbox"/> <b>Personne morale</b> <input type="checkbox"/> <b>Personne physique</b>	
Nom ou dénomination sociale Prénoms Forme juridique N° SIREN Code APE-NAF		<b>XENOCs</b>  <b>SOCIÉTÉ ANONYME PAR ACTIONS SIMPLIFIÉES</b> _____	
Domicile ou siège		<b>19 RUE FRANCOIS BLUMET - 38360 SASSENAGE - FRANCE</b>	
Rue Code postal et ville Pays		_____	
Nationalité N° de téléphone (facultatif) Adresse électronique (facultatif)		<b>FRANCE</b> <b>Française</b> N° de télécopie (facultatif) _____	
<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»			

Remplir impérativement la 2<sup>ème</sup> page

REMISE DES PIÈCES DATE <b>19 JUIN 2002</b> LIEU <b>75 INPI PARIS</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0207546</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	DB 540 W : 04/2001
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>		<b>239750 BLF</b>	
<b>MANDATAIRE (s'il y a lieu)</b> Nom Prénom Cabinet ou Société  N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel  Adresse Rue Code postal et ville Pays N° de téléphone <i>(facultatif)</i> N° de télécopie <i>(facultatif)</i> Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		Cabinet REGIMBEAU     20, rue de Chazelles  <b>75847 PARIS CEDEX 17</b>  01 44 29 35 00 01 44 29 35 99 info@regimbeau.fr	
<b>INVENTEUR (S)</b>		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques	
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : <b>Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)</b>	
<b>RAPPORT DE RECHERCHE</b>		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)	
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance <i>(en deux versements)</i>		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
<b>RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention <i>(joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence)</i> : AG <input type="text"/>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		<input type="text"/>	
<b>SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE</b> <i>(Nom et qualité du signataire)</i> 		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI</b> 	

La présente invention concerne de manière générale les ensembles optiques réfléchissants multicouches à gradient latéral destinés à réfléchir des rayons X sous faible angle d'incidence.

On précise que par « faible angle d'incidence » on entend des angles d'incidence inférieurs à une valeur de l'ordre de  $10^\circ$  (l'angle d'incidence étant défini par rapport à la surface réfléchissante).

Plus précisément, l'invention concerne un ensemble optique réfléchissant multicouche à gradient latéral dont la surface réfléchissante est destinée à réfléchir des rayons X incidents sous faible angle d'incidence en produisant un effet optique bidimensionnel.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un tel ensemble optique.

Par « effet optique bidimensionnel » on entend un effet optique utilisant deux directions différentes de l'espace.

Il peut par exemple s'agir d'une focalisation sur un point (à partir d'une source ponctuelle), ou d'une collimation, d'un faisceau dont les rayons ne sont parallèles dans aucune direction de l'espace (faisceau conique divergent par exemple).

Et pour produire un tel effet bidimensionnel, on peut combiner deux effets optiques monodimensionnels.

On peut par exemple focaliser un faisceau divergent issu d'une source ponctuelle selon une première direction (c'est à dire focaliser un tel faisceau divergent sur une ligne de focalisation, et non sur un point unique), puis focaliser ensuite le faisceau résultant selon une deuxième direction, perpendiculaire à la première direction, pour réellement focaliser le faisceau résultant sur un point image unique.

Des applications (non limitatives) de l'invention concernent la génération de rayons X, des applications analytiques des rayons X telles que la diffraction, la diffraction de cristaux, la cristallographie de protéines, l'analyse de textures, la diffraction de films minces, la mesure de contraintes, la réflectométrie, la fluorescence rayons X.

On précise qu'on donnera par ailleurs dans ce texte une définition du « gradient latéral ».

On connaît déjà des ensembles optiques du type mentionné ci-dessus.

5 On connaît ainsi par le document US 6 041 099 des ensembles optiques multicouches du type miroirs de Montel, qui peuvent être utilisés pour altérer les caractéristiques optiques de rayons X incidents en créant un effet optique bidimensionnel.

10 Ce type d'optique est une variante du schéma optique dit Kirkpatrick-Baez traditionnel qui consiste à aligner deux miroirs non solidaires, courbés suivant deux directions perpendiculaires, pour créer un effet optique bidimensionnel.

15 Suivant une évolution de cette configuration, les optiques décrits dans le document US 6 041 099 sont accolées suivant une configuration en regard ("dispositif Kirkpatrick-Baez side by side") et présentent un revêtement multicouche.

20 Une limitation de ces ensembles optiques découle précisément du fait qu'ils sont constitués de deux éléments distincts accolés (deux miroirs élémentaires ayant chacun une surface propre à produire un effet optique monodimensionnel, ces deux effets optiques se superposant pour produire l'effet optique bidimensionnel désiré).

Il est en effet nécessaire d'assembler ces miroirs élémentaires avec une grande précision, ce qui correspond à une opération délicate.

25 De plus, dans ces ensembles optiques les rayons incidents subissent deux réflexions pour produire les deux effets optiques monodimensionnels – une réflexion sur chaque miroir élémentaire – ce qui entraîne des pertes d'intensité.

30 Le but de l'invention est de permettre de réaliser des ensembles optiques tels que mentionnés en introduction de ce texte, et qui ne soient pas affectés par les inconvénients mentionnés ci-dessus.

Afin d'atteindre ce but, l'invention propose selon un premier aspect un ensemble optique réflectif multicouche à gradient latéral dont la surface

réfléchissante est destinée à réfléchir des rayons X incidents sous faible angle d'incidence en produisant un effet optique bidimensionnel, caractérisé par le fait que ladite surface réfléchissante est constituée d'une surface unique, ladite surface réfléchissante étant conformée selon deux courbures correspondant à deux directions différentes

Des aspects préférés, mais non limitatifs d'un tel ensemble optique sont les suivants :

- le gradient latéral s'étend selon la direction méridionale des rayons X incidents,
- 10 • la surface réfléchissante est régulière,
- l'effet optique bidimensionnel est obtenu par une réflexion unique des rayons incidents sur l'ensemble optique,
- lesdites directions différentes correspondent respectivement à la direction sagittale et à la direction méridionale des rayons X incidents,
- 15 • le multicouche est un multicouche à gradient en profondeur,
- ladite surface réfléchissante est adaptée pour réfléchir des rayons des raies Cu-K  $\alpha$ ,
- la surface réfléchissante a une géométrie de forme sensiblement toroïdale,
- 20 • la surface réfléchissante a une géométrie de forme sensiblement paraboloidale,
- la surface réfléchissante a une géométrie de forme sensiblement ellipsoïdale,
- la surface réfléchissante a une géométrie de forme sensiblement circulaire selon une première direction, et elliptique ou parabolique selon une deuxième direction,
- 25 • la surface réfléchissante a un rayon de courbure sagittale inférieur à 20 mm,
- une fenêtre opaque aux rayons X et comportant une ouverture est associée en entrée et/ou en sortie d'ensemble optique, pour contrôler le flux d'entrée et/ou de sortie de l'ensemble optique,
- 30

- les fenêtres sont amovibles,
- les ouvertures des fenêtres sont dimensionnées pour réaliser un compromis flux/divergence du rayonnement.

5 Selon un deuxième aspect, l'invention propose également un procédé de fabrication d'un ensemble optique selon un des aspects ci-dessus, caractérisé en ce que le procédé comprend le revêtement d'un substrat présentant déjà une courbure, et la courbure de ce substrat selon une deuxième direction différente.

10 Des aspects préférés, mais non limitatifs de ce procédé de fabrication sont les suivants :

- le substrat présente déjà une courbure correspond à la direction sagittale de l'ensemble optique,
- la direction selon laquelle on courbe le substrat correspond à la direction méridionale de l'ensemble optique,
- 15 ◦ on constitue le substrat lui-même, en partant d'un élément en forme de tube, de cône, ou de pseudo-cône présentant déjà une courbure selon une direction perpendiculaire à l'axe du tube, du cône ou du pseudo-cône,
- l'élément est un tube de verre à section transversale circulaire,
- 20 ◦ Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le verre est de type Duran (marque déposée),
- la constitution du substrat comprend le découpage du tube selon la direction longitudinale du tube, de manière à obtenir un substrat en forme de cylindre ouvert,
- 25 ◦ le découpage selon la direction longitudinale du tube est suivi d'un découpage pour dimensionner l'ensemble optique en longueur,
- on effectue le revêtement pour constituer un multicouche avant de courber le substrat,
- on courbe le substrat pour le conformer à la géométrie désirée avant de
- 30 le revêtir pour constituer un multicouche,

- on couple l'ensemble optique à un filtre, pour assurer l'atténuation des bandes spectrales non désirées tout en garantissant une transmission suffisante d'une bande de longueur d'onde prédéterminée pour laquelle on désire réfléchir les rayons X incidents,
- 5 • le filtre est un filtre de Nickel de 10  $\mu\text{m}$ ,
- le filtre est réalisé par une des techniques suivantes :
  - réalisation de deux filtres dont les épaisseurs ajoutées correspondent à l'épaisseur de filtre souhaitée, positionnés respectivement sur les fenêtres d'entrée et de sortie du rayonnement d'un boîtier de protection contenant l'ensemble optique,
  - 10 • dépôt d'une couche de matériau de filtrage sur le revêtement multicouche, avec une épaisseur de dépôt approximativement donnée par la relation suivante :  $d = (e \sin \theta) / 2$  (où  $e$  est l'épaisseur "optique" de filtre nécessaire et  $\theta$  l'angle d'incidence sur l'optique).
- 15 D'autres aspects, buts et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description suivante de formes préférées de réalisation de l'invention, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :
  - La figure 1 est une représentation schématique d'une première forme de réalisation d'un ensemble optique selon l'invention, permettant
  - 20 d'effectuer une focalisation bidimensionnelle d'un faisceau incident de rayons X,
  - La figure 2 est une vue analogue montrant une deuxième forme de réalisation d'un ensemble optique selon l'invention, permettant d'effectuer une collimation d'un faisceau incident de rayons X,
  - 25 • La figure 3 est une vue analogue montrant une troisième forme de réalisation d'un ensemble optique selon l'invention, dans laquelle on recherche une faible divergence du flux réfléchi.

On précise en préambule à cette description que les figures sont destinées à illustrer le principe de l'invention, et ne représentent pas

30 nécessairement les dimensions et échelles de manière réalistes.



Ceci est vrai en particulier pour les angles d'incidence (voire de réflexion) des rayons X.

Ces rayons X arrivent en réalité sur les surfaces réfléchissantes selon l'invention avec une incidence inférieure à  $10^\circ$ .

- 5 On définit également les directions méridionales et sagittales par rapport à la direction générale de propagation du faisceau de rayons X :
- La direction méridionale correspond à la direction moyenne de propagation de ce faisceau (et plus précisément à la direction moyenne entre les directions moyennes de propagation du faisceau avant et
  - 10 après sa réflexion sur les ensembles optiques dont il va être question),
  - La direction sagittale correspond à une direction transversale horizontale de cette direction méridionale (la verticale étant ici définie par la normale moyenne à la partie de la surface réfléchissante des ensembles optiques qui vont être décrits et qui est effectivement utilisée pour
  - 15 réfléchir le faisceau de rayons X incident).

En référence maintenant à la figure 1, on a représenté un ensemble optique 10 destiné à réfléchir des rayons X incidents issus d'une source S de rayons X.

La source S peut être en particulier du type tube à rayons X, anode

20 tournante, ou encore source de rayons X à microfoyer.

L'ensemble optique 10 comprend une structure multicouche formée sur un substrat (par exemple en verre), qui définit une surface réfléchissante pour les rayons X incidents.

La surface réfléchissante de cet ensemble optique a une géométrie

25 particulière.

Plus précisément, cette surface réfléchissante est conformée selon deux courbures correspondant à deux directions différentes.

Et cette surface réfléchissante présente ainsi des différences importantes par rapport à des surfaces réfléchissantes du type de celles

30 mises en œuvre dans des ensembles optiques tels que ceux enseignés par le document US 6 041 099 :

- La surface réfléchissante est une surface réfléchissante unique, au contraire de ce qui est le cas pour des ensembles optiques dans lesquels on a assemblé deux miroirs élémentaires différents,
- Cette surface réfléchissante est régulière (ce terme signifiant dans le présent texte que la surface réfléchissante ne présente pas de discontinuité de deuxième ordre (points anguleux ou arêtes – saillantes ou creuses – etc..),
- Par ailleurs, une différence qui est également importante est que dans le cas de l'invention, les rayons incidents ne subissent qu'une réflexion unique pour produire l'effet optique bidimensionnel désiré, alors que deux réflexions sont nécessaires dans le cas de l'ensemble optique du document US 6 041 099.

Plus précisément encore, la surface réfléchissante de l'ensemble optique selon l'invention présente une courbure  $R_x$  dans la direction X méridionale, et une courbure  $R_y$  dans la direction Y sagittale.

La figure 1 permet de visualiser ces rayons de courbure, deux courbes  $C_x$  et  $C_y$  ayant été représentées pour montrer l'allure des courbes définies par les rayons de courbure respectifs  $R_x$  et  $R_y$ .

Chacun des deux rayons de courbure peut être constant, ou varier le long de sa courbe associée.

Chacune des courbes  $C_x$ ,  $C_y$  peut ainsi être un cercle, mais également une ellipse, une parabole, ou une autre courbe (ouverte ou fermée).

En tout état de cause, la surface réfléchissante de l'ensemble optique 10 n'a pas une forme simple sphérique (c'est à dire que les rayons  $R_x$  et  $R_y$  ne sont pas à la fois égaux et constants).

Chacune des courbes  $C_x$ ,  $C_y$  est ainsi associée à une direction différente de l'espace (deux directions perpendiculaires sur l'exemple commenté ici).

Et chacune de ces courbes produit sur les rayons X qui viennent être réfléchis sur la surface réfléchissante un effet optique monodimensionnel :

- La courbe Cx produit un effet optique monodimensionnel selon la direction X,
- La courbe Cy produit un effet optique monodimensionnel selon la direction Y.

5 Et chacun de ces effets dimensionnels dépend de la courbure associée à la courbe, et de sa loi d'évolution le long de cette courbe.

On pourra ainsi paramétrer les courbes Cx et Cy pour obtenir sélectivement des effets monodimensionnels associés tels qu'une focalisation ou une collimation monodimensionnelle.

10 La figure 1 représente le cas dans lequel chaque courbe Cx, Cy produit une focalisation monodimensionnelle.

A ces fins, Rx et Ry sont différents, mais chacun est constant (les courbes Cx et Cy sont des cercles).

Dans ce premier mode de réalisation préféré, la surface  
15 réfléchissante de l'ensemble optique a ainsi une géométrie toroïdale.

Il en résulte une focalisation bidimensionnelle, qui concentre les rayons divergents issus de la source S vers un point image unique I.

Et le rayon de courbure Ry (rayon de courbure sagittale) peut avoir (dans ce mode de réalisation comme dans les autres) une valeur inférieure  
20 à 20 mm nécessaire pour des focalisations sur de courtes distances, inférieures à 90 cm (distance source-point de focalisation) selon une application privilégiée de l'invention. On reviendra sur cet aspect.

On remarquera que l'ensemble optique selon l'invention permet de s'affranchir des inconvénients mentionnés en introduction de ce texte à  
25 propos des miroirs de type « Montel » à revêtement multicouches.

En particulier, comme cela a déjà été mentionné ci-dessus, cet ensemble optique est monopièce (ne nécessitant pas d'assemblage délicat).

Et les rayons X incidents ne subissent qu'une réflexion unique sur sa  
30 surface réfléchissante.

En outre, la surface réfléchissante est unique et régulière.

On a dit que la surface réfléchissante de l'ensemble optique 10 était définie par un multicouche.

Ce multicouche (comme tous les multicouches dont il sera question dans ce texte) comporte au minimum un « gradient latéral ».

5 Cette caractéristique permet de réfléchir efficacement des rayons X présentant des incidences locales différentes par rapport à la surface réfléchissante.

On comprend en effet que les différents endroits de la surface réfléchissante ne reçoivent pas les rayons X incidents avec la même incidence locale (du fait de la divergence du faisceau incident, et de la géométrie de cette surface réfléchissante).

Par multicouche à gradient latéral, on entend ici un multicouche dont la structure de couche est adaptée pour que la condition de Bragg soit respectée en tout point de la surface utile du miroir.

15 On rappelle que la condition de Bragg est de la forme  $n\lambda = 2d \sin \theta$ , avec :

$n$  : ordre de la réflexion,

$\lambda$  : longueur d'onde de la radiation incidente,

$d$  : période du multicouche,

20  $\theta$  : angle d'incidence sur la surface du multicouche.

Ainsi, pour un rayonnement de rayons X incidents selon une bande étroite de longueur d'onde contenant par exemple les raies  $K\alpha$  du cuivre (raies Cu- $K\alpha$  de longueurs d'onde voisines de 0.154 nm), le miroir multicouche à gradient latéral permet de maintenir les conditions de Bragg sur l'ensemble de la surface utile du miroir.

25 Ceci conduit à la réflexion de la bande de longueur d'onde prédéterminée (dans l'exemple ci-dessus contenant les raies Cuivre  $K\alpha$ ), par différentes régions du miroir sur lesquelles les rayons incidents présentent des angles d'incidence locaux variables.

30 On peut ainsi augmenter la surface du miroir qui est effectivement utilisée.

Le gradient est obtenu en faisant varier la période du multicouche localement, de manière adaptée.

Ce type de structure multicouche à gradient latéral permet ainsi d'augmenter l'angle solide de collection de l'ensemble optique, ce qui conduit à un flux réfléchi plus élevé par rapport à des miroirs monocouches fonctionnant en réflexion totale, pour une géométrie d'optique identique.

On précise que le multicouche des différents modes de réalisation de l'invention peut également présenter un gradient en profondeur.

Un tel gradient en profondeur permet de remplir les conditions de Bragg pour des angles d'incidences fixes et des longueurs d'ondes variables, ou vice-versa.

Il est ainsi possible par exemple d'augmenter la bande passante en longueur d'onde du multicouche de l'ensemble optique, et de focaliser ou collimater des rayons X de longueurs d'ondes différentes, au niveau d'un même plan image donné (cas d'une géométrie fixe – c'est à dire d'une configuration dans laquelle les positions relatives de la source de rayons incidents, de l'ensemble optique et du plan image sont fixes).

On peut de la sorte utiliser des sources de rayons X de longueurs d'ondes différentes pour réfléchir les rayons X issus des différentes sources avec le même ensemble optique, sans que cela nécessite un nouveau positionnement de la source par rapport et/ou du ou des plan(s) image par rapport à l'ensemble optique.

On utilise dans ce cas la tolérance en longueur d'onde de l'ensemble optique (tolérance en  $\Delta\lambda$ ).

De la même façon, il est également possible de traduire cette tolérance en  $\Delta\lambda$  en une tolérance en  $\Delta\theta$ .

Une tolérance sur la longueur d'onde correspondant en effet – dans le cadre de la condition de Bragg – à une tolérance sur l'angle d'incidence, il est possible à longueur d'onde constante du faisceau incident de collecter et de réfléchir un flux lumineux incident dont les rayons de même longueur d'onde ont des incidences locales différentes.

On peut en particulier de la sorte utiliser des sources de rayons X de plus grande dimension (augmentation de l'acceptance angulaire).

En référence maintenant à la figure 2, on a représenté un autre mode de réalisation préféré de l'invention, illustré par un ensemble optique  
5 20.

La surface réfléchissante du multicouche de cet ensemble optique est conformée dans les directions respectives X et Y selon deux courbes Cx et Cy respectivement parabolique et circulaire, chacune de ces courbes produisant une collimation selon sa direction X ou Y associée.

10 On génère ainsi à partir du faisceau incident divergent une collimation parallèle selon toutes les directions de l'espace.

Et il est ainsi possible de réaliser selon l'invention des ensembles optiques composés d'un miroir multicouche (à gradient latéral, et éventuellement en outre à gradient en profondeur), dont la surface  
15 réfléchissante peut avoir une parmi différentes formes complexes asphériques quelconques.

Il est ainsi possible en particulier de donner à cette surface réfléchissante une des géométries suivantes :

- géométrie de forme sensiblement toroïdale,
- 20 • géométrie de forme sensiblement paraboloidale,
- géométrie de forme sensiblement ellipsoïdale,
- géométrie de forme sensiblement circulaire selon une première direction (en particulier la direction sagittale), et elliptique ou parabolique selon une deuxième direction (en particulier la direction méridionale).

25 Le gradient latéral pourra en particulier s'étendre selon la direction méridionale des rayons X incidents.

Et la période du multicouche pourra être adaptée pour réfléchir en particulier des rayons des raies Cu-K  $\alpha$ .

En référence maintenant à la figure 3, on a représenté un ensemble  
30 optique 30 selon l'invention, muni de deux parois d'extrémité 31 et 32, positionnées respectivement à la section d'entrée et à la section de sortie du rayonnement devant être réfléchi par cet ensemble optique.

Chaque paroi 31, 32 présente une ouverture (respectivement 310, 320) laissant passer le rayonnement X, les parois étant par ailleurs opaques aux rayons X.

Les parois pourront être par exemple en plomb.

- 5 Et il est possible d'ajuster la forme et la taille de chaque ouverture (indépendamment de l'autre ouverture), pour contrôler le flux incident (par l'ouverture située à la section d'entrée), et le rayonnement réfléchi (par l'ouverture située à la section de sortie).

- 10 On peut ainsi dimensionner les ouvertures, pour rechercher un compromis entre l'intensité du flux (d'entrée ou de sortie), et sa divergence.

On précise que les parois 31 et 32 peuvent être conçues pour être amovibles, par exemple en étant vissées sur les bords transverses horizontaux de l'ensemble optique comme cela est représenté sur la figure.

- 15 De la sorte, on peut adapter de manière souple des ensembles optiques pour rechercher si besoin un compromis flux/divergence souhaité.

Il est également possible de ne prévoir qu'une paroi d'entrée, ou une paroi de sortie.

Et chaque paroi associée à son ouverture constitue ainsi une « fenêtre » laissant passer les rayons X.

- 20 On va maintenant décrire un procédé préféré permettant d'obtenir un ensemble optique du type décrit ci-dessus, en obtenant les avantages suivants :

- 25 ◦ garantir un très bon état de surface du substrat utilisé pour réaliser le revêtement multicouche (les spécifications de rugosité de surface pour des substrats de miroirs multicouches à rayons X correspondent usuellement à des rugosités ne devant pas dépasser une valeur maximale de l'ordre de 10 angströms rms (root mean square)), et
- 30 ◦ tout en permettant également de constituer des surfaces selon un rayon de courbure sagittale  $R_y$  extrêmement réduit, d'une valeur par exemple inférieure à 20 mm (permettant par exemple de focaliser selon une distance source-point de focalisation inférieure à 90 cm).

En effet, il serait difficile d'obtenir une surface de substrat pour le dépôt du multicouche présentant de telles valeurs de rayons de courbure et d'état de surface :

- en mettant en œuvre le polissage d'un substrat qui présente déjà une courbure sagittale aussi faible : dans ce cas le polissage du substrat préformé s'avèrerait délicat,
- ou bien en courbant selon le rayon de courbure sagittale  $R_y$  un substrat plan déjà poli - dans ce cas il serait difficile d'obtenir les faibles rayons de courbure désirés (alors que de tels rayons de courbure permettent de produire les effets optiques désirés sur de courtes distances, et de réduire ainsi l'encombrement de l'ensemble optique).

Dans le cas du procédé de fabrication selon l'invention, l'état de surface demandé est obtenu sans traitement particulier, en utilisant pour former l'ensemble optique un substrat qui présente déjà une courbure selon une direction de courbure.

Et la direction selon laquelle le substrat présente déjà une courbure correspond de préférence à la direction sagittale de l'ensemble optique, une fois celui-ci fabriqué et placé par rapport à la source de rayons X (cette direction étant comme on l'a dit définie par rapport au rayonnement incident, mais pouvant aussi être définie par rapport à l'ensemble optique lui-même dans la mesure où l'ensemble optique est destiné à être orienté d'une manière spécifique par rapport au rayonnement incident).

Un tel substrat présente une face qui correspond à la face de l'ensemble optique qui portera la surface réfléchissante. On appellera cette face du substrat « face optique ».

Ainsi, de manière générale on utilise selon l'invention un substrat présentant déjà une courbure (selon une direction que l'on fera correspondre de préférence à la direction sagittale de l'ensemble optique), et on courbe ce substrat selon une deuxième direction différente (correspondant de préférence à la direction méridionale de l'ensemble optique).





On effectue également un revêtement de la face optique du substrat par un multicouche. Ce revêtement peut être réalisé avant la courbure du substrat, ou après.

Dans tous les cas, on obtient de la sorte un ensemble optique.

- 5 En choisissant un substrat présentant la courbure désirée (en forme et en valeur(s) de rayon(s) de courbure), et en le courbant de manière désirée, on peut obtenir un ensemble optique ayant la géométrie désirée.

Il est également possible de constituer le substrat lui-même, en particulier en partant d'un élément (en particulier en verre) tel qu'un tube,  
10 un cône, ou même un pseudo-cône (qui est ici défini comme une surface de révolution générée par la révolution selon une courbe telle qu'une ellipse d'une droite génératrice oblique par rapport à son axe de révolution et coupant celui-ci dans l'espace).

Dans le cas d'un élément en tube, le tube peut avoir une section  
15 transversale circulaire, mais également elliptique, ou correspondre à toute courbe fermée.

Et un tel élément peut aussi être un cylindre ouvert dont la directrice est une courbe ouverte telle qu'une parabole.

Dans tous les cas, l'élément de départ présente une courbure selon  
20 une direction qui correspond de préférence à la direction sagittale de l'ensemble optique que l'on souhaite fabriquer.

Et cette direction est perpendiculaire à l'axe du tube, du cône ou du pseudo-cône.

Dans un mode de réalisation préféré, un tel substrat peut en particulier  
25 être obtenu à partir d'un tube de verre dont la section transversale est circulaire.

Dans ce mode de réalisation préféré, le substrat à partir duquel on va fabriquer l'ensemble optique et qui présente une courbure selon une direction peut être en particulier obtenu en :

- 30 • découpant un tube de verre présentant le rayon de courbure sagittale désiré, tel qu'un tube de verre de type Duran (marque déposée) fabriqué par la société SCHOTT, puis

- en revêtant le tube ainsi découpé par des dépôts de matière successifs pour constituer dessus le multicouche.

Un tel substrat sera ensuite courbé selon une direction (de préférence méridionale), avec la courbure désirée, pour obtenir l'ensemble optique.

- 5 Et on précise qu'il est possible – dans ce mode de réalisation comme dans les autres – de procéder d'abord à la courbure de l'élément (ici le tube découpé), et au revêtement ensuite.

- 10 On précise que dans tous les modes de mise en œuvre du procédé selon l'invention, le multicouche ainsi constitué est un multicouche à gradient latéral (et possiblement également à gradient en profondeur).

- 15 Le découpage du tube de verre est réalisé selon la direction longitudinale du tube en effectuant une section selon une direction parallèle à l'axe de symétrie du tube (et pouvant même comprendre cet axe pour constituer un demi-tube), de manière à obtenir un substrat en forme de cylindre ouvert.

La directrice de ce cylindre ouvert a donc dans ce mode de réalisation préféré la forme d'une partie de cercle – par exemple un demi-cercle.

Ce découpage longitudinal est suivi d'un autre découpage pour dimensionner l'optique en longueur.

- 20 A l'issue de ces opérations de découpage, on a donc constitué un substrat pour la fabrication d'un ensemble optique selon l'invention.

- 25 Après avoir revêtu le substrat avec le multicouche, on courbe le substrat revêtu selon la deuxième direction souhaitée, qui correspond à la direction méridionale, pour conformer la surface du multicouche selon la géométrie désirée.

- 30 Ainsi, dans ce mode préféré de réalisation du procédé de fabrication de l'ensemble optique selon l'invention, on peut constituer un substrat cylindrique dont la directrice a sensiblement la forme d'une partie de cercle, puis on effectue le revêtement d'un tel substrat, et la courbure de ce substrat selon une direction non comprise dans le plan de la directrice du cylindre dudit substrat (en particulier selon la direction de la génératrice du cylindre).

Le Demandeur a observé qu'il était ainsi beaucoup plus facile de fabriquer des ensembles optiques selon l'invention, que par une des techniques mentionnées plus haut (revêtement d'un substrat déjà complètement conformé à la géométrie souhaitée, ou courbure selon deux directions d'un multicouche plan).

Et il est ainsi possible d'obtenir des substrats, utilisés par la suite pour le revêtement multicouche, présentant un très bon état de surface (rugosité n'excédant pas 10 angströms rms), et de faibles rayons de courbure sagittale (inférieurs à 20 mm).

On peut ainsi obtenir les effets optiques sur des distances courtes.

Dans le cas de deux focalisations monodimensionnelles, on rappelle ainsi que les caractéristiques de focalisation tangentielle (méridionale) et sagittale sont données par les formules suivantes, pour un miroir toroïdal :

- focalisation tangentielle :  $1/p + 1/q = 2 / (R_x \sin\theta)$ , avec p : distance source-miroir , q : distance miroir-plan de focalisation,  $\theta$  : Angle d'incidence,
- focalisation sagittale :  $1/p + 1/q = 2 \sin\theta / R_y$  (pour une focalisation en deux dimensions les distances p et q sont identiques pour les deux formules).

On précise qu'il est également possible en variante de partir d'une même partie de tube découpée pour former un cylindre dont la directrice est ouverte, et d'inverser l'ordre du revêtement et de la courbure dans la deuxième direction par rapport à ce qui a été décrit ci-dessus.

Dans ce cas, on courbe d'abord le substrat cylindrique, puis on effectue le revêtement pour constituer le multicouche sur la surface ainsi conformée.

Dans tous les cas, le revêtement peut être effectué avec tous types de matériaux permettant de réaliser des multicouches réfléchissants pour rayons X.

Et ce revêtement peut mettre en œuvre tout type de procédé connu à cet effet, par exemple une pulvérisation (possiblement assistée par plasma) ou un autre type de dépôt sous vide.

On précise également que pour des applications nécessitant une importante pureté spectrale, l'ensemble optique destiné à réfléchir les rayons X pourra être couplé à un filtre fabriqué à partir d'une épaisseur et d'un matériau approprié, pour assurer l'atténuation des bandes spectrales non désirées tout en garantissant une transmission suffisante d'une bande de longueur d'onde prédéterminée pour laquelle on désire réfléchir les rayons X incidents.

Ainsi pour des optiques réalisées à partir de revêtements multicouches W/Si pour réfléchir les raies Cuivre  $K\alpha$ , un filtre de Nickel de 10  $\mu\text{m}$  peut être utilisé pour atténuer avec un facteur 8 la raie cuivre  $K\beta$  (0,139 nm) en conservant une transmission suffisante pour les raies  $K\alpha$  (supérieure à 60%).

Cette fonction de filtrage s'ajoute à la "monochromatisation naturelle" obtenue à l'aide du multicouche et peut donc permettre pour des applications où la pureté spectrale est une priorité d'augmenter les performances de l'optique multicouche décrite dans l'invention.

Concernant cet aspect, deux modes de réalisation alternatifs du filtre sont à considérer :

- réalisation de deux filtres dont les épaisseurs ajoutées correspondent à l'épaisseur de filtre souhaitée (par exemple deux filtres de même épaisseur égale à la moitié de l'épaisseur totale souhaitée), positionnés respectivement sur les fenêtres d'entrée et de sortie du rayonnement d'un boîtier de protection contenant l'ensemble optique,
- dépôt d'une couche de matériau (utilisée pour le filtrage) sur le revêtement multicouche. La surface de l'optique est alors constituée d'un revêtement multicouche réfléchissant (à gradient latéral) et d'une couche surfacique assurant la fonction de filtre pour augmenter la pureté spectrale du rayonnement réfléchi. L'épaisseur déposée est alors approximativement donnée par la relation suivante :  $d = (e \sin \theta) / 2$  (où  $e$  est l'épaisseur "optique" de filtre nécessaire et  $\theta$  l'angle d'incidence sur l'optique).

### REVENDEICATIONS

1. Ensemble optique réflectif multicouche (10, 20) à gradient latéral dont la surface réfléchissante est destinée à réfléchir des rayons X incidents sous faible angle d'incidence en produisant un effet optique bidimensionnel, caractérisé par le fait que ladite surface réfléchissante est constituée d'une surface unique, ladite surface réfléchissante étant conformée selon deux courbures correspondant à deux directions différentes.
2. Ensemble optique selon la revendication précédente caractérisé en ce que le gradient latéral s'étend selon la direction méridionale des rayons X incidents.
3. Ensemble optique selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la surface réfléchissante est régulière.
4. Ensemble optique selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que l'effet optique bidimensionnel est obtenu par une réflexion unique des rayons incidents sur l'ensemble optique.
5. Ensemble optique selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que lesdites directions différentes correspondent respectivement à la direction sagittale et à la direction méridionale des rayons X incidents.
6. Ensemble optique selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que le multicouche est un multicouche à gradient en profondeur.

7. Ensemble optique selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que ladite surface réfléchissante est adaptée pour réfléchir des rayons des raies Cu-K  $\alpha$ .
- 5 8. Ensemble optique selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la surface réfléchissante a une géométrie de forme sensiblement toroïdale.
- 10 9. Ensemble optique selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisé en ce que la surface réfléchissante a une géométrie de forme sensiblement paraboloidale.
- 15 10. Ensemble optique selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisé en ce que la surface réfléchissante a une géométrie de forme sensiblement ellipsoïdale.
- 20 11. Ensemble optique selon l'une des revendications 1 à 7 caractérisé en ce que la surface réfléchissante a une géométrie de forme sensiblement circulaire selon une première direction, et elliptique ou parabolique selon une deuxième direction.
- 25 12. Ensemble optique selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que la surface réfléchissante a un rayon de courbure sagittale inférieur à 20 mm.
- 30 13. Ensemble optique selon l'une des revendications précédentes caractérisé en ce que une fenêtre opaque aux rayons X et comportant une ouverture est associée en entrée et/ou en sortie d'ensemble optique, pour contrôler le flux d'entrée et/ou de sortie de l'ensemble optique.

14. Ensemble optique selon la revendication précédente caractérisé en ce que les fenêtres sont amovibles.
- 5 15. Ensemble optique selon l'une des deux revendications précédentes caractérisé en ce que les ouvertures des fenêtres sont dimensionnées pour réaliser un compromis flux/divergence du rayonnement.
- 10 16. Procédé de fabrication d'un ensemble optique selon une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le procédé comprend le revêtement d'un substrat présentant déjà une courbure, et la courbure de ce substrat selon une deuxième direction différente.
- 15 17. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que la direction selon laquelle le substrat présente déjà une courbure correspond à la direction sagittale de l'ensemble optique.
- 20 18. Procédé selon l'une des deux revendications précédentes caractérisé en ce que la direction selon laquelle on courbe le substrat correspond à la direction méridionale de l'ensemble optique.
- 25 19. Procédé selon l'une des trois revendications précédentes caractérisé en ce que on constitue le substrat lui-même, en partant d'un élément en forme de tube, de cône, ou de pseudo-cône présentant déjà une courbure selon une direction perpendiculaire à l'axe du tube, du cône ou du pseudo-cône.
20. Procédé selon la revendication précédente caractérisé en ce que l'élément est un tube de verre à section transversale circulaire.
- 30 21. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le verre est de type Duran (marque déposée).

22. Procédé selon l'une des deux revendications précédentes, caractérisé en ce que la constitution du substrat comprend le découpage du tube selon la direction longitudinale du tube, de manière à obtenir un substrat en forme de cylindre ouvert.
- 5
23. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le découpage selon la direction longitudinale du tube est suivi d'un découpage pour dimensionner l'ensemble optique en longueur.
- 10
24. Procédé selon l'une des huit revendications précédentes, caractérisé en ce que on effectue le revêtement pour constituer un multicouche avant de courber le substrat.
- 15
25. Procédé selon l'une des revendications 16 à 24, caractérisé en ce que on courbe le substrat pour le conformer à la géométrie désirée avant de le revêtir pour constituer un multicouche.
- 20
26. Procédé selon l'une des dix revendications précédentes, caractérisé en ce que on couple l'ensemble optique à un filtre, pour assurer l'atténuation des bandes spectrales non désirées tout en garantissant une transmission suffisante d'une bande de longueur d'onde prédéterminée pour laquelle on désire réfléchir les rayons X incidents.
- 25
27. Procédé selon la revendication précédente, caractérisé en ce que le filtre est un filtre de Nickel de 10  $\mu\text{m}$ .
28. Procédé selon l'une des deux revendications précédentes, caractérisé en ce que le filtre est réalisé par une des techniques suivantes :
- réalisation de deux filtres dont les épaisseurs ajoutées correspondent à l'épaisseur de filtre souhaitée, positionnés respectivement sur les fenêtres d'entrée et de sortie du rayonnement d'un boîtier de protection contenant l'ensemble optique,
- 30





- dépôt d'une couche de matériau de filtrage sur le revêtement multicouche, avec une épaisseur de dépôt approximativement donnée par la relation suivante :  $d = (e \sin \theta) / 2$  (où  $e$  est l'épaisseur "optique" de filtre nécessaire et  $\theta$  l'angle d'incidence sur l'optique).

$1/3$ 

5

5

7  
X

7

五

4

**WATER RESOURCES**

**DUPLICATA**

reproduit conforme à l'original

Fig. 1

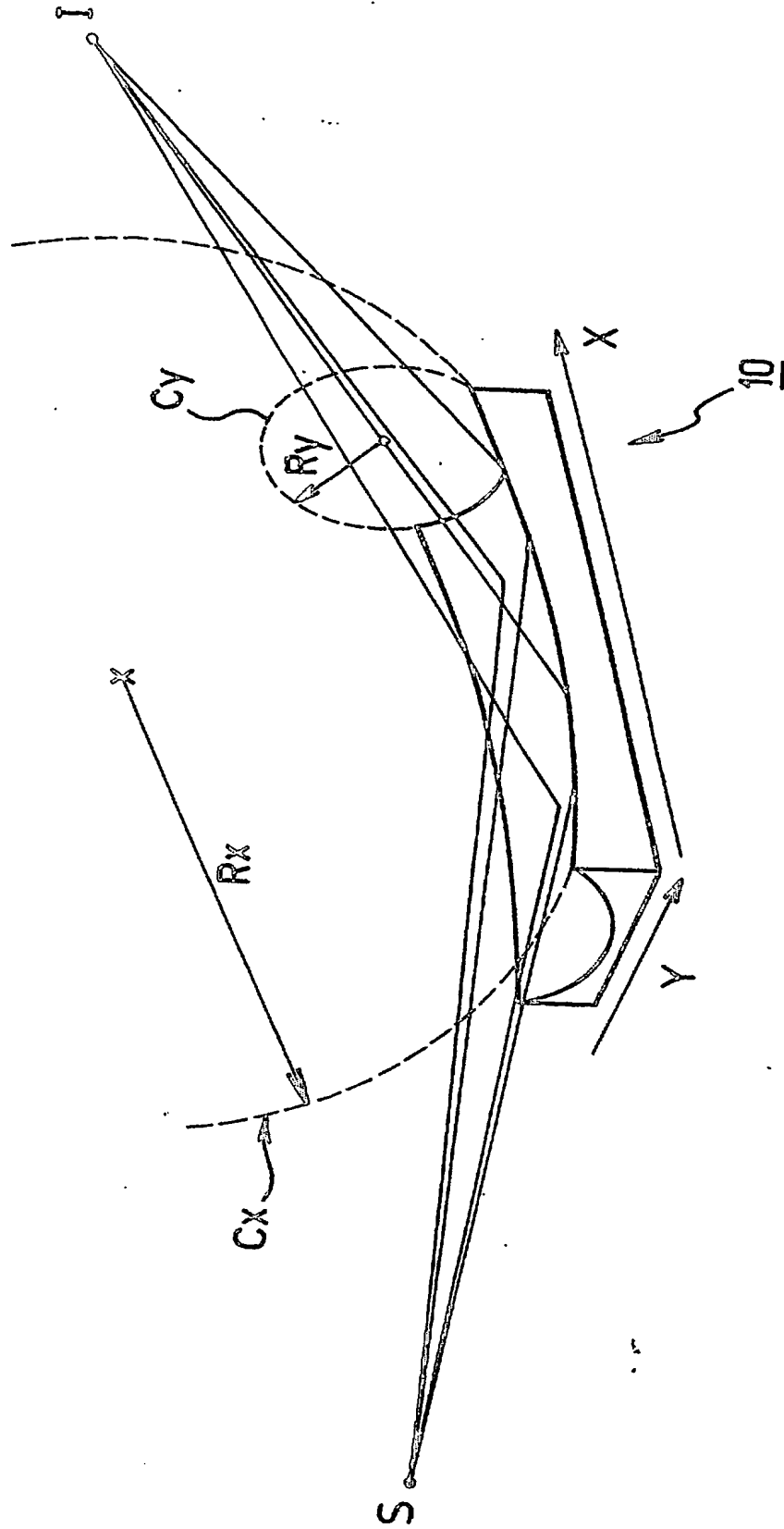
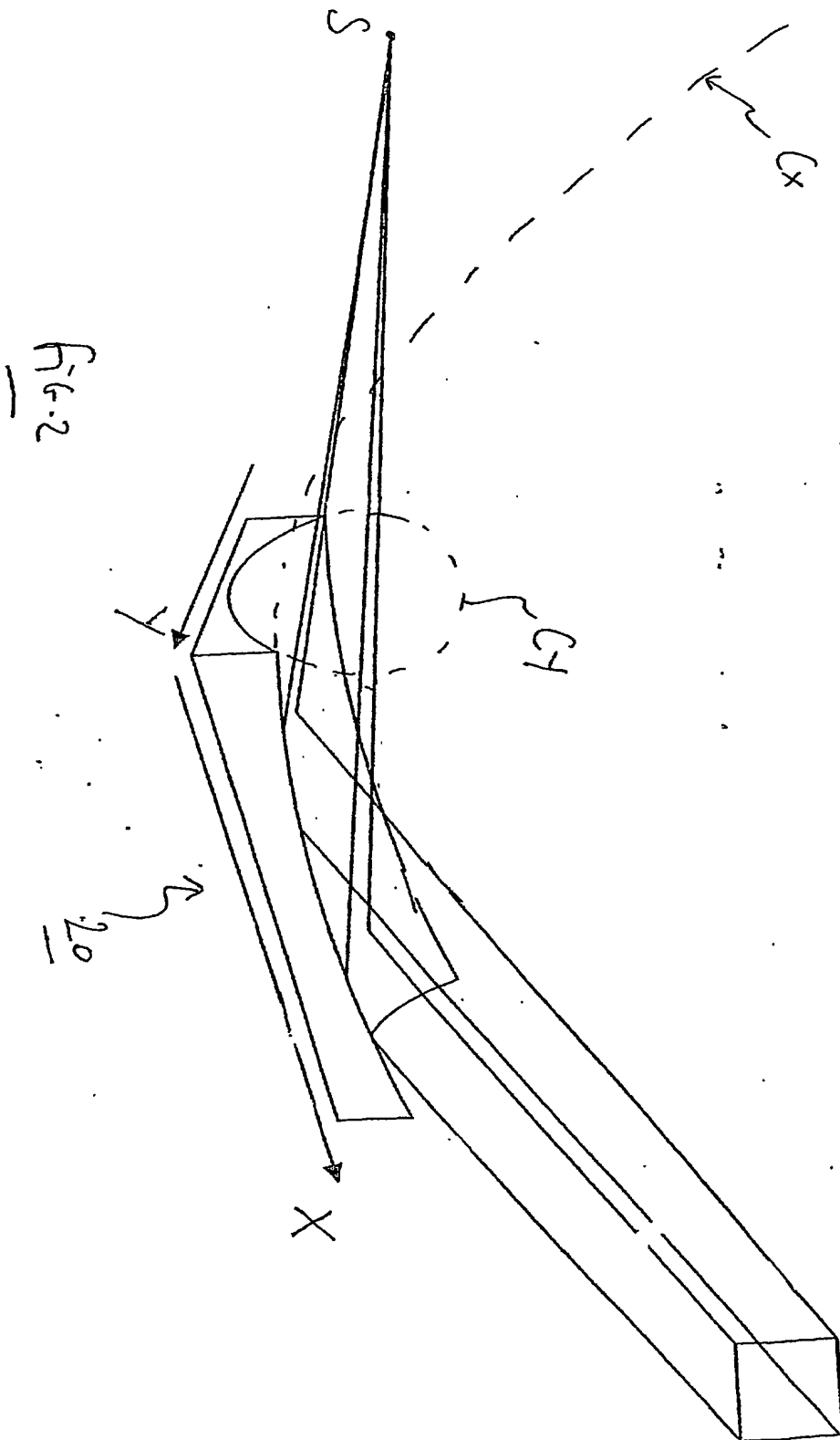


FIG. 1

2/3



CABINET REGIMBEAU  
**DUPLICATA**  
certifié conforme à l'original

213

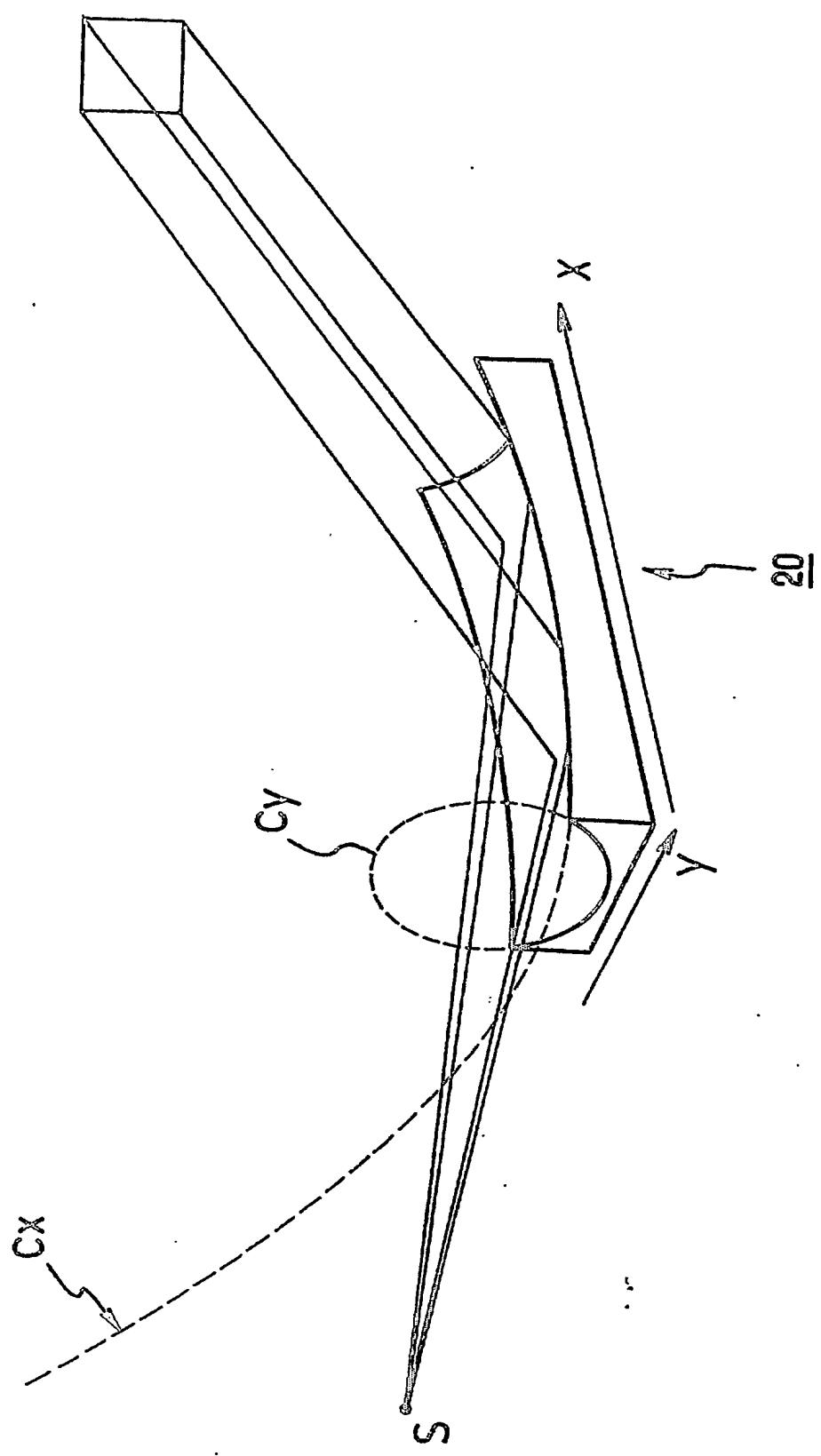
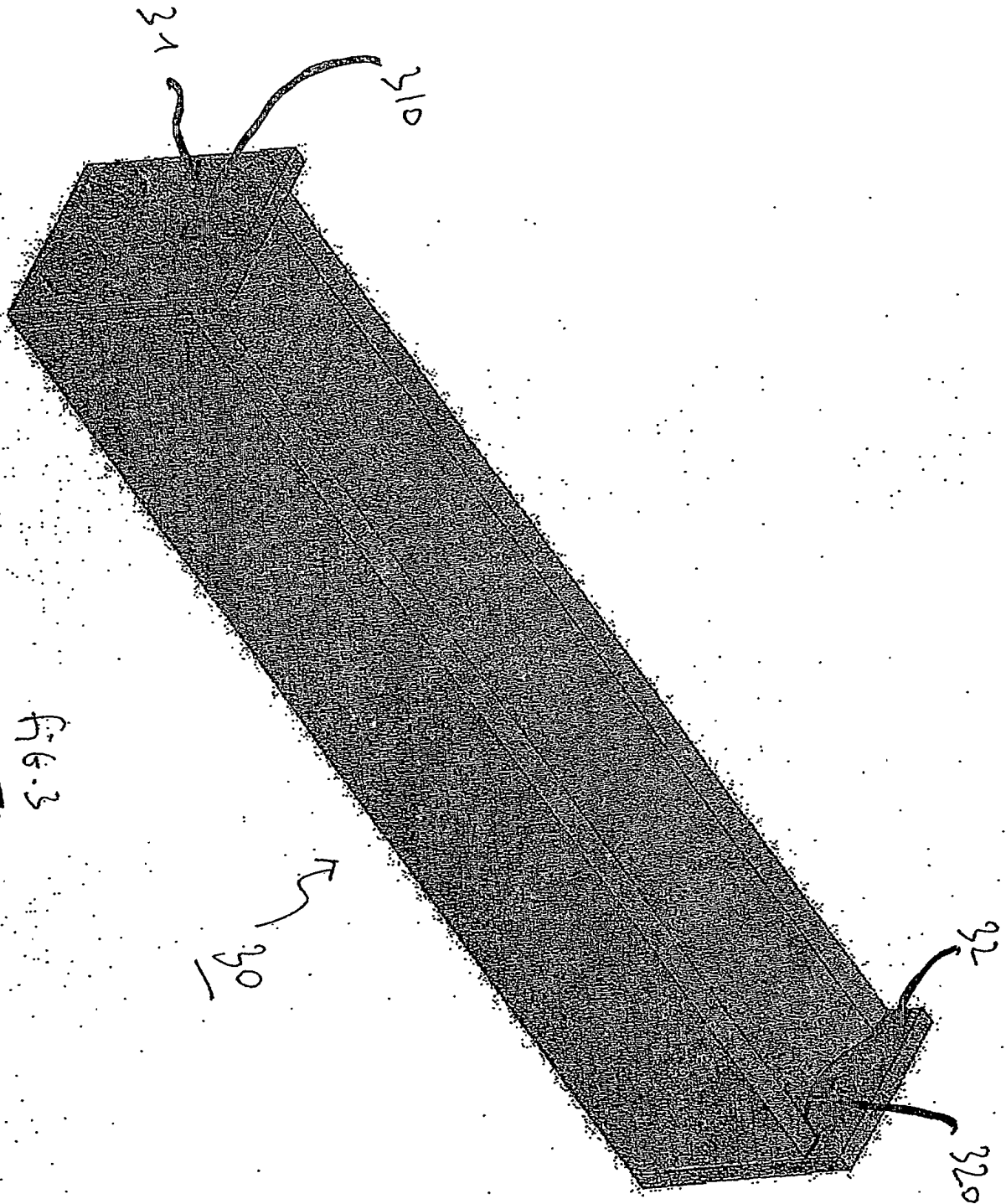


FIG. 2



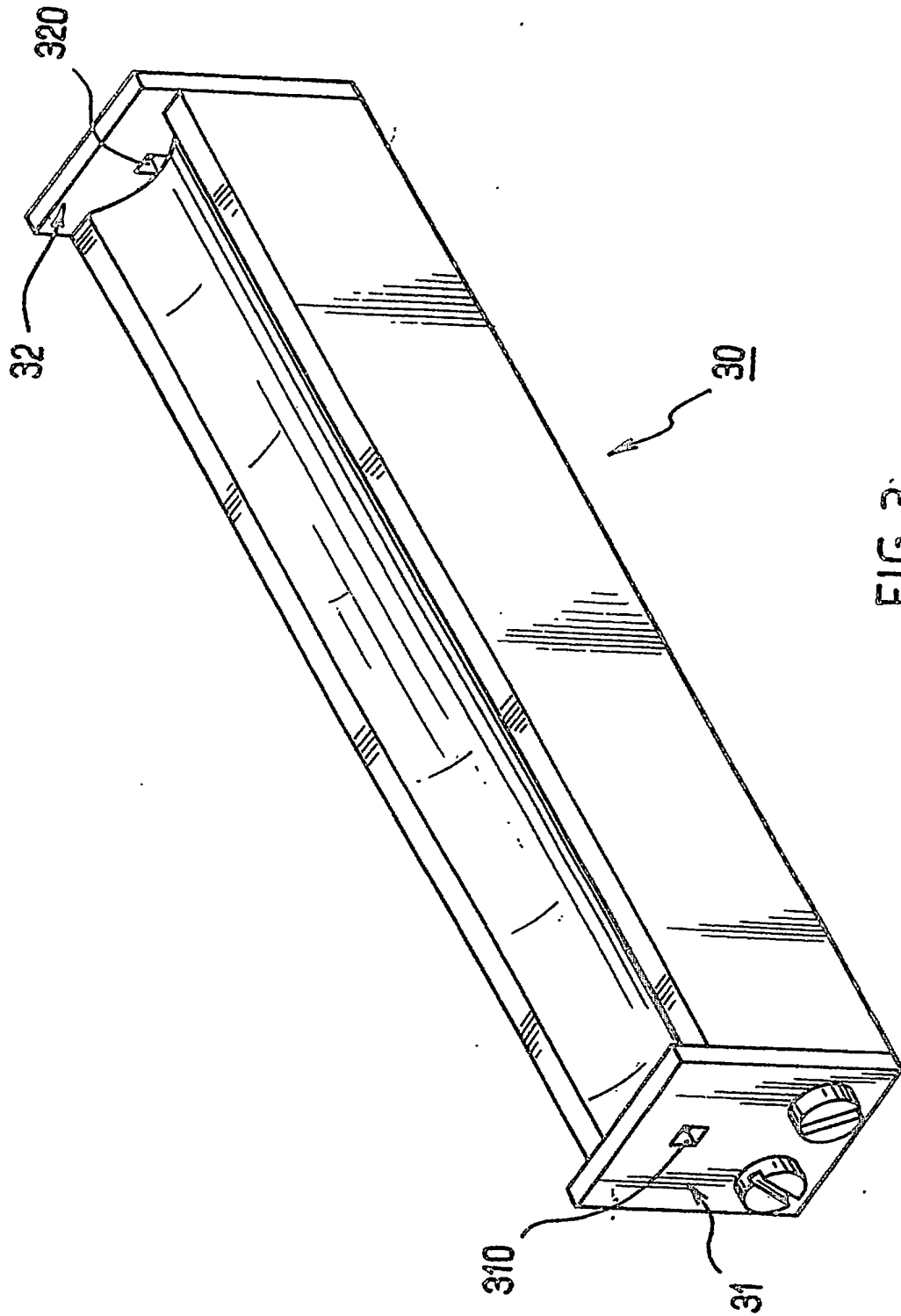


FIG. 3

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08


Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1... / ...

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 270601

Vos références pour ce dossier (facultatif)		239750 JC	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0207546	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
ENSEMBLE OPTIQUE ET PROCEDE ASSOCIE.			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
XENOCS : 19 RUE FRANCOIS BLUMET - 38360 SASSENAGE - FRANCE - FRANCE			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :			
1 Nom		HOGHOJ Peter	
Prénoms			
Adresse	Rue	23, Clos St. Martin	
	Code postal et ville	38950 SAINT MARTIN LE VINOUX FR	
Société d'appartenance (facultatif)			
2 Nom		DARIEL Aurélien	
Prénoms			
Adresse	Rue	Le Refuge - Le Village	
	Code postal et ville	38250 SAINT NIZIER DU MOUCHEROTTE FR	
Société d'appartenance (facultatif)			
3 Nom		RODRIGUES Sergio	
Prénoms			
Adresse	Rue	03, rue de Villard de Lans Appartement 203	
	Code postal et ville	38000 GRENOBLE FR	
Société d'appartenance (facultatif)			
S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)			
 92-1284			



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**